

# РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ОБМОТОК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ИМПУЛЬСНОГО МЕТОДА

А.В. Лавринович<sup>1</sup>, А.В. Мытников<sup>2</sup>

Томский научно-исследовательский проектный институт Нефть<sup>1</sup>

Томский политехнический университет<sup>2</sup>

ЭНИН, ЭЭС

Выход электродвигателя из строя ведет к прерыванию технологического цикла или производственного процесса и сопровождается существенными материальными потерями. Во многих случаях причиной возникновения аварийных ситуаций является дефекты обмоток. В связи с этим, разработка эффективной технологии контроля состояния обмоток является актуальной задачей. В работе приводятся результаты экстраполяции импульсного метода диагностики обмоток трансформаторов для выявления дефектов обмоток электродвигателей. Показано, что возможно определение состояния обмотки без использования анализа сигнала отклика, только на основе анализа зондирующего импульса. Установлено, что предлагаемый метод позволяет определять тип дефекта и место его локализации.

Среди потребителей электрической энергии доля электродвигателей различного назначения составляет около 80%. Редкий современный технологический процесс обходится без использования вращающихся электрических машин различной мощности. Турбогенераторы электрических станций, синхронные компенсаторы, насосы, компрессоры, станки промышленных предприятий, электродвигатели для обеспечения собственных нужд - далеко неполный список электрических машин активно применяемых в современной индустрии. Обмотки электрических машин, являются их наиболее сложной и наиболее уязвимой частью, состояние которых во многом определяет долговечность и надежность работы машин и как следствие – качество технологического процесса, в котором они применяются. Возникновение дефектов в обмотках приводит к выходу электрической машины из строя и может приводить к тяжелым авариям [1]. Эти аварии большей частью не носят характера внезапной катастрофы, однако, требуют крупного ремонта или даже реконструкции обмотки, а иногда и замены машины в целом, что всегда связано с большими материальными затратами. Диагностика и контроль состояния обмоток электрических машин является необходимым условием при их длительной эксплуатации, это условие позволяет определить фактическое состояние обмоток, преждевременно выявить образование дефектов, устранение которых на ранней стадии позволит избежать серьезной поломки оборудования или аварии, снизить затраты на текущий ремонт и увеличить срок службы оборудования [1, 2].

Ниже приводится список наиболее распространенных дефектов и их доля в процентах от общего числа повреждений электродвигателей.

- Межвитковые замыкания и замыкания обмотки на корпус - 30%.
- Перегрузка и перегрев статора - 16%.
- Повреждения подшипников - 12%.

- Повреждения обмоток статора или изоляции - 11%.
- Проблема с ремнями - 9%.
- Небаланс ротора - 3%.

Как следует из приведенного списка, дефекты обмоток составляют основную часть от общей доли всех повреждений электродвигателей. Поэтому, создание технологии контроля состояния обмоток электродвигателей, является достаточно актуальной задачей. На практике часто пользуются измерением сопротивления изоляции обмоток. Метод довольно неточный, показывает повреждение обмотки при полном замыкании, не позволяет определить место дефекта и является, достаточно устаревшим. Среди современных методов контроля обмоток многообещающим представляется спектральный анализ модулей векторов Парка тока и напряжения [1]. Однако этому методу присущ ряд недостатков, среди которых: сложность, как измерительной процедуры, так и оценки результатов измерений, необходимость дальнейших исследований [2]. Таким образом, не смотря на существование различных методов диагностики обмоток электродвигателей, на сегодняшний день не создано универсального, простого в эксплуатации и экономически эффективного способа контроля состояния обмоток обладающего необходимой точностью и достоверностью.

Одним из путей решения указанной проблемы может служить экстраполяция известного метода низковольтных импульсов (НВИ) для диагностики обмоток трансформаторов на контроль состояния обмоток электродвигателей. Метод НВИ был разработан в Институте электротехники г. Варшава, Польша в 1966 и описан в [2, 3]. Суть метода заключается в том, что на одну из обмоток трансформатора подается зондирующий стандартный грозовой импульс 1,2/50 мкс амплитудой 100 – 500 В. Другие обмотки шунтируются, и на шунтах регистрируется отклик на зондирующий импульс. Отклик представляет собой сигнал, соответствующий переходному процессу, возникающему в обмотках, как реакция на воздействие зондирующего импульса. В качестве эталонного сигнала служит нормограмма – отклик с обмотки заведомо исправного трансформатора. При профилактических испытаниях процедура зондирования повторяется. Сравнивая результаты текущего зондирования и нормограммы можно делать вывод о состоянии и возможной неисправности обмотки при относительно существенном отклонении отклика от нормограммы. Метод НВИ получил интенсивное развитие в РФ в конце прошлого века [4].

В наших экспериментах был использован зондирующий импульс с параметрами 200 В, 400 нс. Принцип работы диагностического комплекса, генерации зондирующих импульсов, регистрации сигналов и методика измерений применялись ранее для трансформаторного оборудования и подробно изложены в [5, 6].

На рисунке 1,а приведены зондирующий импульс (верхняя осциллограмма), который подавался на фазу А обмотки статора и сигнал отклика (нижняя осциллограмма) снимался с фазы В. На рисунке 1,б приведены осциллограммы сигналов зондирующего импульса и отклика соответственно, подаваемых и снимаемых как и в предыдущем случае, только для двигателя с поврежденной обмоткой (межвитковое короткое замыкание).

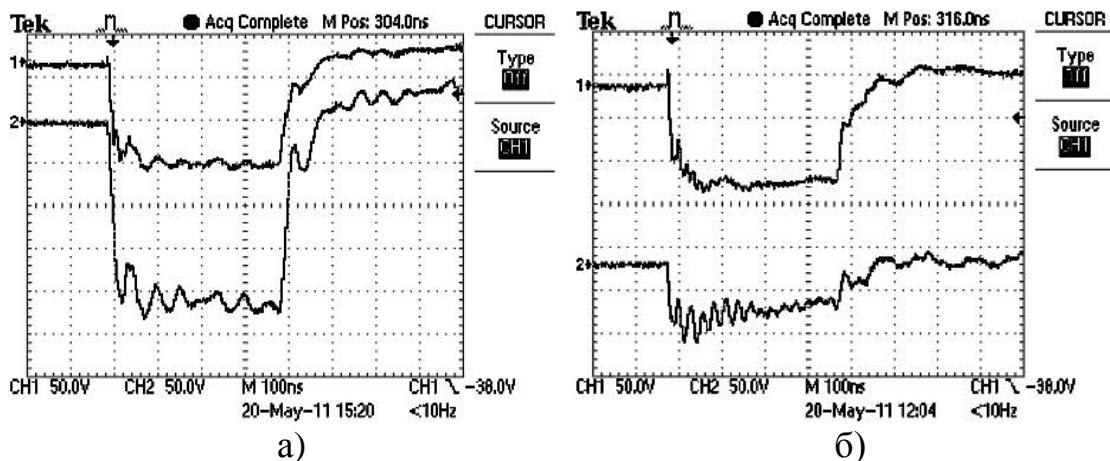


Рис. 1. Осциллограммы зондирующего импульса и отклика для случая а) обмотки исправны; б) межвитковое замыкание в обмотке статора.

Как видно из приведенных осциллограмм, сигналы отклика имеют существенные отличия. Отклик в случае исправной обмотки практически повторяет зондирующий импульс с незначительными отличиями в виде колебаний на фронте и плоской части импульса. В случае зондирования неисправной обмотки сигнал отклика кардинально отличается от зондирующего импульса. Таким образом, основной вывод, который можно сделать на основе приведенных практических измерений, состоит в том, что технология импульсного дефектографирования, успешно применяемая для контроля состояния обмоток трансформаторов может быть применена к обмоткам электродвигателей с достаточно высокой степенью информативности. Одним из выводов, сделанных по результатам измерений, приведенных выше, является трансформация зондирующего импульса в зависимости от ситуации в обмотке. Характерные изменения формы импульса, особенно на спаде и в «хвостовой» части, свидетельствуют о наличии или отсутствии дефекта. Чем сильнее степень искажения формы прямоугольного импульса, тем выше вероятность появления дефектного состояния в обмотке. Ниже приводятся результаты, полученные в экспериментах на модели обмотки, реализованной в программе Micro-Cap.

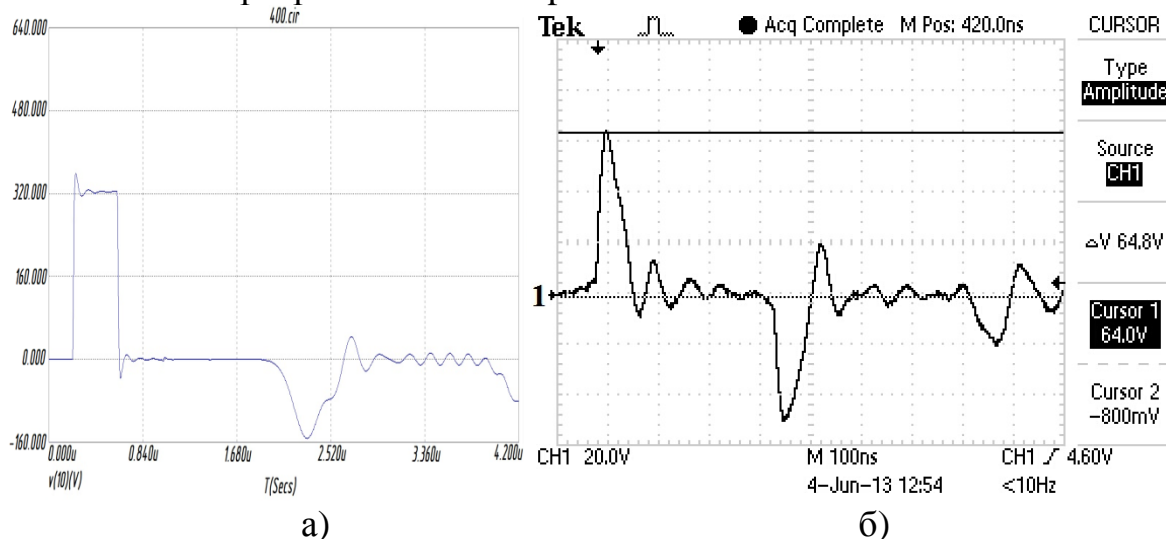


Рисунок 2. Вид осциллограмм для случая дефект типа «короткозамкнутый виток» в середине обмотки; а) сигнал получен на модели обмотки электродвигателя, б) осциллограмма получена реальной обмотке.

Как следует из представленных осциллограмм, совпадение сигналов на модели и реальной обмотки является достаточно высоким, что свидетельствует об адекватности модели обмотки.

Таким образом, по результатам представленных экспериментальных исследований, можно сформулировать следующие выводы:

Технология импульсного дефектографирования, успешно применяемая для контроля состояния обмоток трансформаторов, может быть применена к обмоткам электрических машин.

Предложенный метод контроля состояния способен обнаруживать тип дефекта и его локализацию.

В процессе контроля состояния обмотки используется только зондирующий импульс прямоугольной формы наносекундной длительности (400 нс). Сигнал отклика с других обмоток не регистрируются.

Предлагаемый метод прост, надежен и обладает достаточно высокой достоверностью, что позволяет рассматривать его как перспективный в условиях реальной эксплуатации.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Петухов В.С., Соколов В.А. Диагностика электродвигателей. Метод спектрального анализа номинальных токов // Новости электротехники. – 2005. – № 31. – с. 50-52.
2. Лех В., Тымински Л. Новый метод индикации повреждений при испытании трансформаторов на динамическую прочность // Электричество. – 1966. – № 1. – с. 77-81.
3. Аветиков В.Г., Левицкая Г.И., Попов Е.А. Импульсное дефектографирование трансформаторов при испытаниях на электродинамическую стойкость // Электротехника. – 1978. – № 4. – с. 5 –57.
4. Lavrionovich V.A., Isaev Y.N., Mytnikov A.V. Advanced control state technology of transformer windings // International Journal on “Technical and Physical Problems of Engineering”, December 2013, Issue 17, Volume 5, Number 4, 2013. – № 4. – pp. 94 – 98.
5. Lavrionovich V.A., Mytnikov A.V. Development of pulsed method for diagnostics of transformer windings based on short probe impulse // IEEE Trans. Dielectric Electrical Insulation. – 2015. - № 22 (4). – p. 2041–2045.
6. Lavrionovich V.A., Mytnikov A.V., Hongda Li. Advanced technology of transformer winding condition control based on nanosecond probing impulse // Resource-Efficient Technologies. – 2016. – № 2. –p. 111–117.

Научный руководитель: А.В. Мытников, к.т.н., доцент каф. ЭЭС ЭНИН ТПУ.